

Perbandingan Mengukur Tingkat Kematangan Roti Bakar Menggunakan Mamdani dan Tsukamoto

Adhila Miskah Umniyyah^{1*}, Muh Taqwir Jabal Ashar², Fadlan Eka Putra³, Ummiati
Rahmah⁴

^{1,2,3,4,5} Universitas Negeri Makassar, Indonesia

Corresponding e-mail : adhilamiskahumniyyah@gmail.com

ARTICLE INFO

Keywords:

Kontrol Pemanggangan;
Logika Fuzzy;
Metode Mamdani;
Metode Tsukamoto;
Suhu;

Article History

Received: July 15, 2025
Revised : August 26, 2025
Accepted : September 16,
2025

ABSTRACT

Roti merupakan makanan pokok sehari-hari bagi banyak orang, dan menentukan tingkat kematangan yang tepat sangat penting untuk menjaga kualitas dan keamanan. Penelitian ini menerapkan metode logika fuzzy, yaitu Mamdani dan Tsukamoto, untuk menentukan tingkat kematangan roti berdasarkan tiga variabel *input*, yaitu suhu pemanggangan, ketebalan adonan, dan waktu pemanggangan. Sistem memproses data *input* melalui tahap fuzzifikasi, evaluasi aturan, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan persentase yang menunjukkan tingkat kematangan. Analisis perbandingan menunjukkan bahwa metode Tsukamoto menghasilkan *output* yang lebih mendekati hasil pemanggangan yang sebenarnya, terutama pada skenario dengan target tingkat kematangan sekitar 60 persen. Oleh karena itu, metode Tsukamoto direkomendasikan karena menunjukkan akurasi yang lebih baik dan lebih cocok untuk diterapkan dalam sistem kontrol pemanggangan yang cerdas.

This is an open access article under the [CC BY-SA license](#)



To cite this article : Author. (20xx). Title. Information Technology Education Journal, X(X), XX-XX.
Doi. xxxx

PENDAHULUAN

Perkembangan bisnis kuliner saat ini semakin pesat, cepat, dan beranekaragam seiring dengan tuntutan kebutuhan hidup masyarakat yang semakin kompleks akibat perubahan gaya hidup. Berbagai macam konsep, bentuk, serta cita rasa yang ditawarkan oleh para pelaku bisnis kuliner ini yang bertujuan untuk dapat memanjakan mata sekaligus membeli produk tersebut [1].

Salah satu jajanan yang masih begitu eksis sampai saat ini dan memiliki banyak peminat adalah roti bakar. Kuliner roti bakar rasanya hampir bisa ditemukan di seluruh daerah di Indonesia dengan harganya yang murah meriah dan tentunya sangat ramah di kantong, banyak anak muda dan orang dewasa yang menjadikan jajanan ini sebagai cemilan ngobrol santai saat berkumpul bersama teman dan keluarga [2]. Ketika mendengar roti bakar, anda akan membayangkan roti tawar yang dipanggang menggunakan alat pemanggang atau dimasak diatas wajan yang nantinya menciptakan tekstur renyah serta sensasi smoky, dilengkapi dengan berbagai isian dan topping yang nikmat mulai dari cokelat, keju, susu kental manis, kacang, hingga isian lainnya. Saat ini, para pengusaha roti bakar pun terus berinovasi untuk menciptakan menu-menu baru yang tentunya kekinian dan yang tak hanya lezat disantap, tetapi juga terlihat menarik untuk diabadikan sebagai bukti bahwa produk yang mereka tawarkan mampu bersaing di era sekarang ini [3].

Pada usaha roti bakar bahan dasar roti merupakan kombinasi dari tepung dan air yang telah difermentasikan dengan bantuan *leaving agent* atau bahan pengembang, tapi ada juga yang tidak menggunakan bahan ini. Bahan pengembang atau bahan tambahan selama proses fermentasi

adalah *Mother dough* atau biasanya lebih dikenal dengan *sour dough* (adonan asam), yang merupakan golongan bakteri yaitu bakteri asam laktat yang telah digunakan secara luas dalam pembuatan produk makanan fermentasi salah satunya pada proses pembuatan roti [4].

Produksi ini dilakukan oleh sektor perdagangan yang bergerak di bidang makanan, mulai dari usaha yang berskala rumahan hingga usaha yang berskala besar. Dalam proses pembuatan roti bakar, diperlukan sebuah sistem yang digunakan untuk mengukur suhu pemanggangan, ketebalan roti, waktu pembakaran, dan tingkat kematangan dengan menerapkan suatu metode. Terdapat berbagai metode yang dapat diterapkan untuk menganalisis pengaruh *Input/Output* untuk mengukur Tingkat kematangan roti bakar, dan metode yang dipilih untuk digunakan yaitu logika *fuzzy* yakni metode *Fuzzy Mamdani* dan *Tsukamoto* [5].

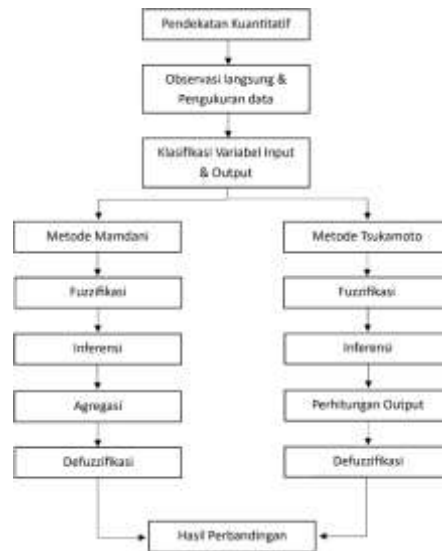
Dalam Penelitian ini Logika *Fuzzy* yang digunakan adalah *Fuzzy Mamdani* dan *Fuzzy Tsukamoto* untuk membandingkan efektivitas dua metode *fuzzy*. Metode *mamdani* sendiri diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975, metode ini dipilih karena sebuah alasan keluarannya yang dinamis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu deskriptif kualitatif dimana metode ini akan digunakan dalam mengukur tingkat kematangan roti bakar. Sedangkan Metode *Fuzzy Tsukamoto* dipilih karena memiliki kelebihan yang jelas menonjol, yaitu mampu mendefinisikan nilai yang kabur atau tidak tepat dari *input* penilaian, membangun, serta menerapkan pengalaman-pengalaman dari pakar-pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan [6]. Logika *Fuzzy Tsukamoto* juga merupakan sebuah pendekatan yang berfokus pada aturan yang berbentuk IF-THEN yang harus direpresentasikan dengan himpunan *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan yang bersifat monoton [7].

Penelitian terkait *mamdani* dan *Tsukamoto* ini digunakan untuk pengambilan keputusan yang bertujuan untuk menganalisis perbandingan mengukur tingkat kematangan pada roti menggunakan metode *mamdani* dan *tsukamoto*. Dari hasil perbandingan tersebut akan diketahui mana yang paling mendekati dengan hasil tingkat kematangan sebenarnya pada usaha roti tersebut [8]. Penelitian dengan metode *mamdani* akan menghasilkan hasil yang lebih baik dalam mengukur tingkat kematangan roti, karena metode ini lebih baik dalam menangani *variable input* yang memiliki hubungan *non-linier* [9]. Begitu juga dengan penelitian yang dilakukan pada metode *tsukamoto* dimana nantinya pada metode ini akan menangani data *input* yang bersifat kabur atau tidak pasti, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode *Tsukamoto* memiliki keunggulan dalam mengintegrasikan pengetahuan dari para ahli di bidang pembuatan roti, yang dimana pengetahuan tersebut banyak bersifat subjektif, kedalam sebuah sistem pengukuran tingkat kematangan roti [10].

Berdasarkan permasalahan diatas penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas metode *Fuzzy Mamdani* dan *Tsukamoto* dalam mengukur tingkat kematangan roti bakar. Dalam penelitian ini, kedua metode tersebut akan diimplementasikan dan dianalisis akurasi prediksinya. Selain itu, penelitian akan mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan masing-masing metode, serta menentukan metode yang paling tepat untuk meningkatkan kontrol kualitas produksi roti bakar. Dari penelitian ini di harapkan efisiensi dan efektivitas produksi dapat meningkat melalui penerapan sistem kontrol kualitas yang lebih akurat dan terstandarisasi juga bisa menjadi panduan praktis bagi para pengusaha roti bakar dalam memilih dan mengimplementasikan metode logika *fuzzy* yang paling sesuai dengan kebutuhan mereka.

METODE

Dalam penelitian ini, pendekatan kuantitatif diterapkan dengan tujuan membandingkan efektivitas pendekatan metode *Fuzzy Mamdani* dan *Tsukamoto* dalam mengevaluasi tingkat kematangan roti bakar. Data yang dianalisis mencakup variabel-variabel penting seperti suhu pemanggangan, waktu pemanggangan, dan ketebalan roti.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung selama proses pembuatan roti bakar, yang dilengkapi dengan pengukuran cermat terhadap variabel *input* dan *output*. Dalam kerangka sistem *fuzzy*, variabel-variabel utama dikategorikan sebagai *input* dan *output*. Variabel *input* meliputi klasifikasi suhu pemanggangan (rendah, sedang, tinggi), dan ketebalan roti (tipis, sedang, tebal). Sementara itu, variabel *output* adalah waktu pemanggangan (sebentar, sedang, lama), dan tingkat kematangan roti bakar yang dikelompokkan menjadi (kurang matang, matang, dan gosong). Fungsi keanggotaan untuk setiap variabel dirancang menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan segitiga yang dipilih karena kemampuannya dalam merepresentasikan data linguistik secara efektif dan memastikan akurasi hasil yang optimal dalam konteks pengukuran tingkat kematangan roti bakar. Pada implementasi metode *fuzzy*, penelitian ini mengadopsi dua pendekatan utama, yaitu *Fuzzy Mamdani* dan *Fuzzy Tsukamoto*. Metode Mamdani menerapkan aturan berbasis himpunan *fuzzy* dan menggunakan operator MIN-MAX untuk inferensi, dengan defuzzifikasi dilakukan melalui metode centroid untuk menghasilkan nilai crisp sebagai hasil akhir. Di sisi lain, metode Tsukamoto mengandalkan aturan berbasis fungsi linear, yang cenderung menghasilkan *output* dengan presisi lebih tinggi dibandingkan metode Mamdani. Simulasi dan pengujian dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB, dengan berbagai skenario pemanggangan roti bakar untuk mengevaluasi keandalan sistem prediksi.

1. Metode *Fuzzy Mamdani*

Metode Mamdani pertama kali diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Metode ini digunakan untuk mengatur mesin uap dan boiler yang dikombinasikan dengan sekumpulan aturan kontrol linguistik yang disusun berdasarkan pengalaman para operator. Dalam proses menentukan *output*, terdapat beberapa tahapan, yaitu:

a. Fuzzifikasi

Mengubah nilai *input* crisp (tegas) menjadi derajat keanggotaan dalam himpunan-himpunan *fuzzy* yang sesuai.

b. Penerapan Aturan (*Rule evaluation* / Inferensi)

Inferensi *fuzzy* adalah proses menggabungkan *input fuzzy* dengan aturan *fuzzy* untuk menghasilkan kesimpulan *fuzzy*. Dalam metode Mamdani, inferensi dilakukan berdasarkan aturan IF-THEN, dan menggunakan operasi logika *fuzzy* seperti AND (\wedge) atau OR (\vee). Bentuk umum aturan: IF x is A AND y is B THEN z is C

c. Agregasi (*Aggregation*)

Menggabungkan semua hasil inferensi dari aturan *fuzzy* ke dalam satu fungsi *output fuzzy*.

Rumus: $\mu_{\text{output}}(z) = \max(\mu_{C1}(z), \mu_{C2}(z), \dots, \mu_{Cn}(z))$ - Nilai maksimum diambil dari semua fungsi keanggotaan hasil aturan.

d. Defuzzifikasi (*Defuzzification*)

Mengubah *output fuzzy* menjadi nilai crisp (tegas) yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan. Salah satu metode defuzzifikasi adalah metode centroid atau composite moment, yang mengambil titik pusat (z^*) dari daerah *fuzzy*. Dirumuskan sebagai berikut: Untuk semesta kontinu:

$$z^* = \frac{(\sum_{i=1}^n z_i \mu(z_i))}{(\sum_{i=1}^n \mu(z_i))}$$

2. Menggunakan Metode Tsukamoto

Dalam Metode Tsukamoto, setiap konsekuensi dari aturan IF-THEN harus direpresentasikan sebagai himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang bersifat monoton. Sebagai hasilnya, keluaran dari proses inferensi pada setiap aturan berupa nilai tegas (crisp) yang diperoleh melalui perhitungan α -predikat (tingkat kebenaran aturan) untuk mendapatkan *output* akhir, digunakan metode rata-rata berbobot. Proses inferensi dalam metode ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Fuzzifikasi

Mengubah *input crisp* (nilai tegas) menjadi derajat keanggotaan *fuzzy* berdasarkan fungsi keanggotaan monoton (naik atau turun).

b. Penerapan Aturan (*Rule evaluation*/Inferensi)

Menentukan derajat kebenaran (α -predikat) dari masing-masing aturan *fuzzy*.

Bentuk aturan: IF x is A AND y is B THEN z is C

Rumus inferensi, jika menggunakan operator AND (\wedge):

$$\alpha_i = \min[\mu_{A(x)}, \mu_{B(y)}]$$

- α_i = α -predikat dari aturan ke-i

c. Perhitungan *Output* Tiap Aturan (Z_i)

Setiap aturan harus menghasilkan nilai crisp z_i yang sesuai dengan nilai α -predikat menggunakan fungsi keanggotaan monoton pada bagian *output*. Rumus, cari nilai z_i yang memenuhi: $\mu_C(z_i) = \alpha_i$

- Karena fungsi $\mu_C(z)$ monoton, maka bisa dibalik untuk mencari z_i .

d. Defuzzifikasi (*Defuzzification*)

Menggabungkan semua nilai z_i dari masing-masing aturan untuk mendapatkan *output* akhir (nilai crisp). Rumus defuzzifikasi metode Tsukamoto adalah:

$$z = \frac{\sum a_i z_i}{\sum a_i}$$

Dimana

- z = hasil akhir defuzzifikasi (nilai crisp)
- α_i = bobot dari aturan ke-i
- z_i = *output* crisp dari aturan ke-i

HASIL DAN DISKUSI

Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

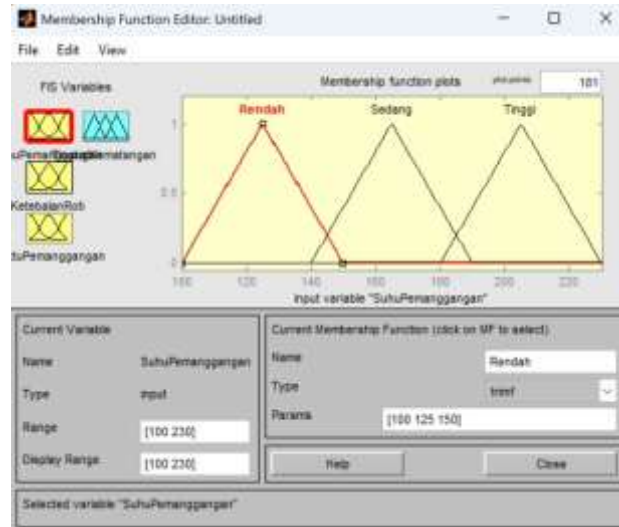
Pada tahap pembentukan himpunan *fuzzy*, baik variabel *input* maupun *output* dibagi ke dalam satu atau dua himpunan *fuzzy*. Berdasarkan data yang tersedia, terdapat tiga variabel *input*, yaitu Suhu Pemanggangan, Ketebalan Roti, dan waktu pemanggangan, sedangkan variabel *output*nya adalah tingkat kematangan roti. Nilai parameter untuk masing-masing himpunan *fuzzy* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Fungsi	Variabel	Himpunan <i>Fuzzy</i>	Range	Domain
<i>Input</i>	Suhu Pemanggangan	Rendah	(100, 125, 150) Celcius	[100, 230]
		Sedang	(140, 165, 190) Celcius	
		Tinggi	(180, 205, 230) Celcius	
	Ketebalan Roti	Tipis	(1, 2, 3) cm	[1, 7]
		Sedang	(2.5, 4, 5.5) cm	
		Tebal	(5, 6, 7) cm	
	Waktu Pemanggangan	Sebentar	(2, 4, 6) Menit	[2, 12]
		Sedang	(5, 7, 9) Menit	
		Lama	(8, 10, 12) Menit	
<i>Output</i>	Tingkat Kematangan Roti	Kurang Matang	(0, 25, 50) %	[0, 100]
		Matang	(40, 60, 80) %	
		Gosong	(70, 85, 100) %	

Berikut ini merupakan metode untuk menentukan nilai keanggotaan berdasarkan variabel numerik dan variabel linguistik dalam himpunan *fuzzy*, beserta fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel *input* dan *output*.

a. Suhu Pemanggangan (°C)



Gambar 2. Fungsi Keanggotaan Variabel Suhu Pemanggangan

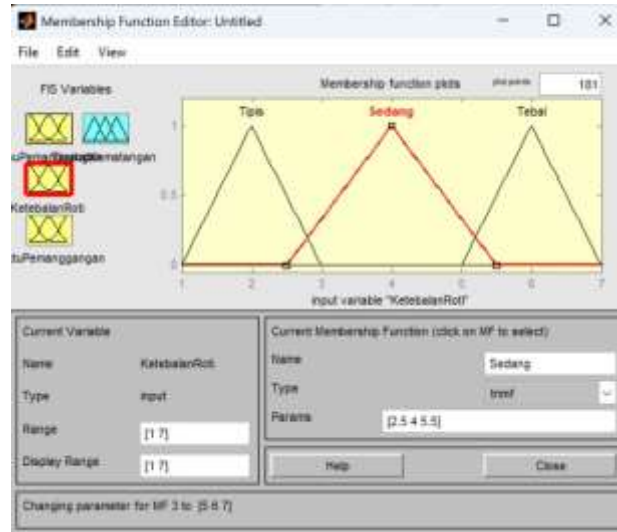
Pada variabel Suhu Pemanggangan, digunakan tiga fungsi keanggotaan yaitu RENDAH, SEDANG, dan TINGGI dengan *range* nilai antara 100 hingga 230. Fungsi keanggotaan RENDAH memiliki parameter [100, 125, 150]. Fungsi keanggotaan SEDANG memiliki parameter [140, 165, 190]. Fungsi keanggotaan TINGGI memiliki parameter [180, 205, 230]. Fungsi keanggotaan untuk masing-masing kategori dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 100 \text{ atau } x \geq 150 \\ \frac{x - 100}{25}, & 100 < x \leq 125 \\ \frac{150 - x}{25}, & 125 < x < 150 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 140 \text{ atau } x \geq 190 \\ \frac{x - 140}{25}, & 140 < x \leq 165 \\ \frac{190 - x}{25}, & 165 < x < 190 \end{cases}$$

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 180 \text{ atau } x \geq 230 \\ \frac{x - 180}{25}, & 180 < x \leq 205 \\ \frac{230 - x}{25}, & 205 < x < 230 \end{cases}$$

b. Ketebalan Roti (cm)



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Variabel Ketebalan Roti

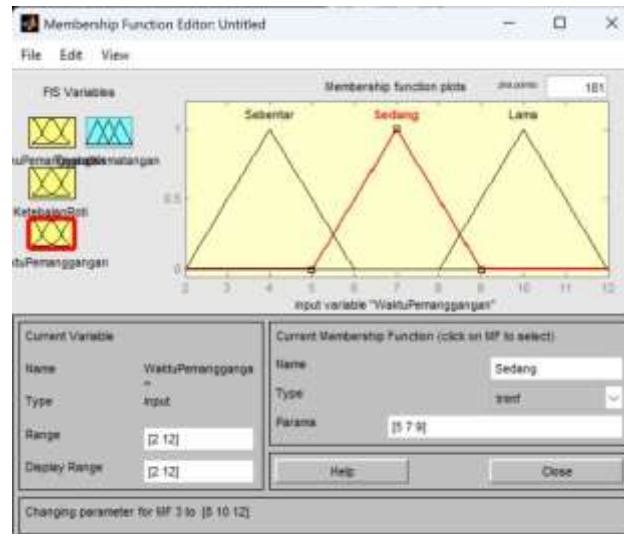
Pada variabel Ketebalan Roti, terdapat tiga fungsi keanggotaan yaitu TIPIS, SEDANG, dan TEBAL dengan rentang nilai antara 1 hingga 7. Fungsi keanggotaan TIPIS memiliki parameter [1, 2, 3]. Fungsi keanggotaan SEDANG memiliki parameter [2.5, 4, 5.5]. Fungsi keanggotaan TEBAL memiliki parameter [5, 6, 7]. Fungsi keanggotaan masing-masing kategori dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{tipis}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{x-1}{2-1}, & x-1, & 1 < x \leq 2 \\ \frac{3-x}{3-2}, & 3-x, & 2 < x < 3 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2.5 \text{ atau } x \geq 5.5 \\ \frac{x-2.5}{4-2.5}, & \frac{x-2.5}{1.5}, & 2.5 < x \leq 4 \\ \frac{5.5-x}{5.5-4}, & \frac{5.5-x}{1.5}, & 4 < x < 5.5 \end{cases}$$

$$\mu_{tebal}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \text{ atau } x \geq 7 \\ \frac{x-5}{6-5}, & x-5, & 5 < x \leq 6 \\ \frac{7-x}{7-6}, & 7-x, & 6 < x < 7 \end{cases}$$

c. Waktu Pemangangan (menit)



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Variabel Waktu Pemangangan

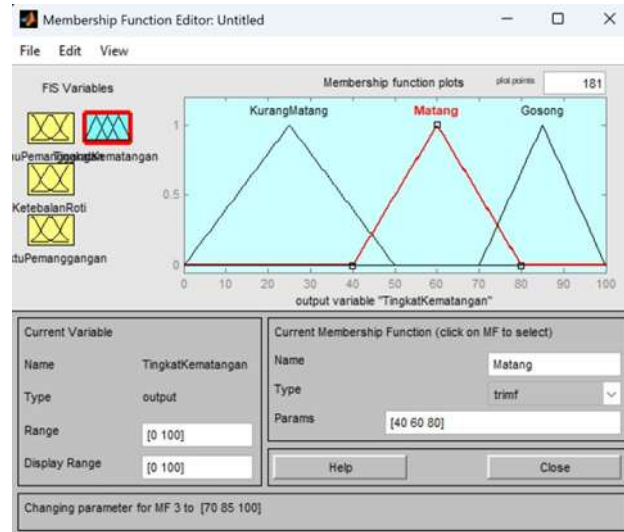
Pada variabel Waktu Pemangangan, digunakan tiga fungsi keanggotaan yakni SEBENTAR, SEDANG, dan LAMA dengan rentang nilai antara 2 hingga 12. Fungsi keanggotaan SEBENTAR memiliki parameter [2, 4, 6]. Fungsi keanggotaan SEDANG memiliki parameter [5, 7, 9]. Fungsi keanggotaan LAMA menggunakan parameter [8, 10, 12]. Fungsi keanggotaan masing-masing kategori dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{sebarang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \text{ atau } x \geq 6 \\ \frac{x-2}{2}, & 2 < x \leq 4 \\ \frac{6-x}{2}, & 4 < x < 6 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \text{ atau } x \geq 9 \\ \frac{x-5}{2}, & 5 < x \leq 7 \\ \frac{9-x}{2}, & 7 < x < 9 \end{cases}$$

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 180 \text{ atau } x \geq 230 \\ \frac{x-180}{25}, & 180 < x \leq 205 \\ \frac{230-x}{25}, & 205 < x < 230 \end{cases}$$

d. Tingkat Kematangan Roti (%)



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Variabel Tingkat Kematangan

Pada variabel Tingkat Kematangan, terdapat tiga fungsi keanggotaan yaitu KURANG MATANG, MATANG, dan GOSONG dengan rentang nilai antara 0 hingga 100. Fungsi keanggotaan KURANG MATANG memiliki parameter [0, 25, 50]. Fungsi keanggotaan MATANG memiliki parameter [40, 60, 80]. Fungsi keanggotaan GOSONG memiliki parameter [70, 85, 100]. Fungsi keanggotaan untuk setiap kategori dirumuskan sebagai berikut:

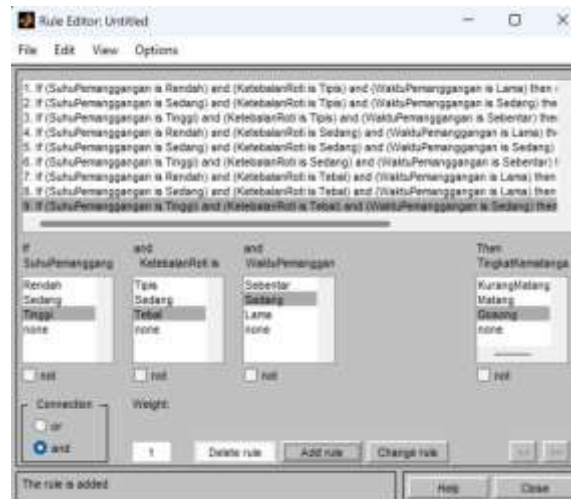
$$\mu_{kurang\ matang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 50 \\ \frac{x-0}{25}, & 0 < x \leq 25 \\ \frac{50-x}{25}, & 25 < x < 50 \end{cases}$$

$$\mu_{matang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 40 \text{ atau } x \geq 80 \\ \frac{x-40}{20}, & 40 < x \leq 60 \\ \frac{80-x}{20}, & 60 < x < 80 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 100 \\ \frac{x-70}{15}, & 70 < x \leq 85 \\ \frac{50-x}{15}, & 85 < x < 100 \end{cases}$$

Pembentukan Aturan Fuzzy

Nilai keanggotaan untuk himpunan Suhu Pemanggangan, Ketebalan Roti, Waktu Pemanggangan, dan Tingkat Kematangan ditentukan menggunakan fungsi keanggotaan *fuzzy* berdasarkan data yang tersedia. Pembentukan aturan *fuzzy* dilakukan dengan menganalisis data pada masing-masing variabel, yaitu tiga variabel *input* dan satu variabel *output*, untuk menentukan batas-batas setiap himpunan *fuzzy*. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dirumuskan sembilan aturan *fuzzy* yang digunakan dalam sistem ini. Aturan-aturan tersebut mengikuti pola: IF Suhu IS ... AND Ketebalan IS ... AND Waktu IS ... THEN Kematangan IS ... dan hasil pembentukan aturan *fuzzy* tersebut ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Aturan Fuzzy Mamdani dan Tsukamoto

Agregasi (Aggregation)

Karena hanya Rule 5 yang aktif, maka proses inferensi cukup dilanjutkan langsung ke tahap defuzzifikasi untuk memperoleh nilai keluaran akhir.

Defuzzifikasi

Pada tahap ini, diperoleh hasil *output* dari pemrosesan menggunakan Metode Fuzzy Mamdani dan Metode Tsukamoto. *Output* dari Metode Fuzzy Mamdani dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Output berdasarkan Aturan Fuzzy Metode Mamdani

Pada Gambar 7 terlihat bahwa hasil *output* untuk jumlah Tingkat Kematangan Roti menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani* adalah sebesar 60%. Sementara itu, untuk Metode *Fuzzy Tsukamoto*, proses defuzzifikasi dilakukan dengan menggunakan metode rata-rata terpusat (*center average defuzzification*), dengan perhitungan sebagai berikut:

a. Hasil Metode Tsukamoto

$$z = \frac{\sum a_i z_i}{\sum a_i}$$

$$z = \frac{0(0) + 0(0) + 0(40) + 0(0) + 1(60) + 0(70) + 0(0) + 0(40) + 0(70)}{0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 + 0}$$

$$z = \frac{60}{1} = 60$$

Maka Tingkat Kematangan Roti menggunakan metode *fuzzy Tsukamoto* adalah 60%, sama dengan Mamdani.

Perbandingan Hasil

Tabel 2 menampilkan hasil pengujian terhadap tingkat kematangan roti berdasarkan tiga parameter *input*, yaitu suhu pemanggangan, ketebalan roti, dan waktu pemanggangan. Tiga nilai ditampilkan sebagai hasil, yaitu: Skor Asli (nilai rujukan), Hasil Mamdani, dan Hasil Tsukamoto.

Tabel 2. Perbandingan Hasil

No	Suhu Pemanggangan	Ketebalan Roti	Waktu Pemanggangan	Tingkat Kematangan		
				Skor Asli	Mamdani	Tsukamoto
1.	165	3	6	60	58	62
2.	190	5.5	10	85	82	87
3.	120	2	4	40	35	38
4.	210	6	11	95	93	94
5.	145	4	8	70	68	72

Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata selisih nilai yang dihasilkan oleh Metode Tsukamoto relatif kecil terhadap skor asli dibandingkan dengan hasil Metode Mamdani. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Metode Tsukamoto memiliki tingkat akurasi yang lebih stabil dan mendekati nilai aktual dalam menentukan tingkat kematangan roti.

KESIMPULAN

Penelitian ini melakukan perbandingan efektivitas antara metode *Fuzzy Mamdani* dan *Fuzzy Tsukamoto* dalam mengukur tingkat kematangan roti bakar. Kedua metode tersebut diterapkan dan dianalisis tingkat akurasi prediksinya menggunakan software MATLAB. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui keunggulan dan kelemahan masing-masing metode serta menentukan metode yang paling sesuai untuk meningkatkan kontrol kualitas dalam produksi roti bakar. Berdasarkan hasil analisis, metode *Fuzzy Tsukamoto* direkomendasikan untuk diterapkan dalam sistem kontrol kualitas tingkat kematangan roti bakar karena memberikan hasil prediksi yang lebih konsisten dan sesuai dengan standar kematangan yang diharapkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas produksi melalui penerapan sistem

kontrol kualitas yang lebih akurat dan terstandarisasi, serta menjadi panduan bagi pengusaha roti bakar dalam memilih dan mengimplementasikan metode logika *fuzzy* yang sesuai dengan kebutuhan mereka.

REFERENSI

- [1] Syamsul Bahri Sitorus, "Analisis Kualitas Produk dan Etika terhadap Keputusan Pembelian Roti Bakar Toasteria di Jalan Gurilla Medan," 2024.
- [2] N. Awal *dkk.*, "Laporan Studi Kelayakan Bisnis 'Roti Bakar Sultan,'" *Jurnal Studi Kelayakan Bisnis Fakultas Ekonomi*, vol. 10, 2021.
- [3] Arniati, "Pengaruh Kualitas Produk terhadap Kepuasan Konsumen pada Roti Bakar Bandung 19 di Kota Makassar," 2024, doi: 10.56314/jumabiv2i1.
- [4] N. Made, A. Anggreini, dan U. Kuntiarti, "Perbandingan Kualitas Roti dengan Menggunakan Mother Dough dan Instant Yeast," *Jurnal Ketahanan Dosen Bisnis*, vol. 2, no. 1, hlm. 147–120, 2023, doi: 10.22334/parvis7516.
- [5] Y. A. Adoe, K. Letelay, dan E. S. Y. Pandie, "Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto dalam Penentuan Jumlah Produksi Roti (Studi Kasus: Dwi Jaya Bakery Kupang)," *Jurnal Diferensial*, vol. 4, 2022.
- [6] N. Iqbal Bimantoro dan D. Avianto, "Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Perhitungan Gaji Karyawan," *smartcomp*, vol. 12, no. 4, Okt 2023, doi: 10.30591/smartcomp.v12i4.6032.
- [7] A. Burhanuddin, "Analisis Komparatif Inferensi Fuzzy Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto terhadap Produktivitas Padi di Indonesia," 2023.
- [8] T. Yulianto, I. Solehah, F. Faisol, R. Amalia, dan M. Tarfiana, "Perbandingan Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Mamdani dalam Memprediksi Intensitas Curah Hujan di Kabupaten Sumenep," *Jurnal Aplikasi Teknologi Informasi dan Manajemen (JATIM)*, vol. 4, no. 1, hlm. 69–83, 2023, doi: 10.31102/jatim.v4i1.2186.
- [9] N. Alifah, A. Susilo, dan Y. Irawan, "Implementasi Sistem Pendeteksi Asap Kebakaran dengan Mikrokontroler Arduino dengan Metode Fuzzy Mamdani," *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)*, vol. 7, no. 1, hlm. 299–307, 2023.
- [10] A. D. Putri dan A. Maulana, "Penerapan Metode Mamdani Fuzzy Logic untuk Menentukan Pembelian Alat Berat dalam Proyek Migas di PT SMOE Indonesia," *Jurnal Desain dan Analisis Teknologi*, vol. 2, no. 2, hlm. 138–149, 2023, doi: 10.58520/jdat.v2i2.32.